

## ESSAY REVIEW

*Edited by* CATHERINE GOLDSTEIN AND PAUL R. WOLFSON

All books, monographs, journal articles, and other publications (including films and other multisensory materials) relating to the history of mathematics are abstracted in the Abstracts Department. The Reviews Department prints extended reviews of selected publications.

*Materials for review, except books, should be sent to the editor of the Abstracts Department, Professor David E. Zitarelli, Department of Mathematics, Temple University, Philadelphia, PA 19122, U.S.A. Books in English for review should be sent to Professor Paul R. Wolfson, Department of Mathematics and Computer Science, West Chester University, West Chester, PA 19383, U.S.A. Books in other languages for review should be sent to Professor Catherine Goldstein, Bat. 425, Mathématiques, Université de Paris-Sud, F-91405 Orsay Cedex, France.*

Most reviews are solicited. However, colleagues wishing to review a book are invited to make their wishes known to the appropriate Book Review Editor. (Requests to review books written in the English language should be sent to Prof. Paul R. Wolfson at the above address; requests to review books written in other languages should be sent to Prof. Catherine Goldstein at the above address.) We also welcome retrospective reviews of older books. Colleagues interested in writing such reviews should consult first with the appropriate Book Review Editor (as indicated above, according to the language in which the book is written) to avoid duplication.

**La Sphère, instrument au service de la découverte du monde: D'Autolykos de Pitane à Jean de Sacrobosco.** Par Germaine Aujac. Collection *Varia*. Caen (Paradigme). 1993. 380 pp.

*Reviewed by* BERNARD VITRAC

CNRS, UPR 21

Dissipons d'abord un malentendu que le sous-titre pourrait suggérer: d'astronomie médiévale il n'est (brièvement) question que dans la préface qui introduit cette réunion de 23 articles, publiés par Germaine Aujac de 1970 à 1990. Le livre traite surtout d'astronomie et de géographie mathématiques élémentaires, développées par les anciens Grecs de la fin du IV<sup>e</sup>me siècle avant J. C. jusqu'aux premiers siècles de notre ère. Les sources ne sont pas rares: nous disposons d'un corpus de textes mentionné par Pappus sous le nom de "Petite Astronomie" dans la Préface du Livre VI de sa *Collection mathématique*—je reviendrai sur sa composition plus loin—auquel on peut adjoindre le poème d'Aratos (*Les Phénomènes*) avec le commentaire qu'en fit Hipparque, l'*Introduction aux Phénomènes* de Géménus, le petit traité (*Théorie élémentaire*) de Cléomède et les prolégomènes mathématiques de la *Géographie* de Strabon.

Germaine Aujac connaît bien ces textes puisqu'elle a produit l'édition (et la traduction française) de Strabon (L. I–II, 1969), Géménus (1975), et Autolykos

(1979, en collaboration avec J. P. Brunet et R. Nadal) pour la Collection des Universités de France publiée aux Belles-Lettres. Pour faire partager la passion qu'elle éprouve manifestement pour ces auteurs elle a publié parallèlement plusieurs articles (spécialisés ou de vulgarisation) et prononcé diverses conférences dont les textes sont reproduits ici.

L'ensemble est réparti en trois sections principales: I. Sphérique et géocentrisme—II. Sphérique et sphéropée—III. Applications pratiques.

Commençons par la remarque annoncée sur la composition de la "Petite Astronomie." Germaine Aujac (p. 160, n. 4) donne pour le recueil la composition suivante: *Données, Optique, Catoptrique* et *Phénomènes* d'Euclide; *Sphériques, Lieux géographiques*, et *Des jours et des nuits* de Théodose de Bithynie; *La sphère en mouvement, les levers et couchers d'étoiles* d'Autolykos de Pitane; *Des ascensions* d'Hypsiclès; *La grandeur et les distances du soleil et de la lune* d'Aristarque de Samos; *Les Sphériques* de Ménélaos. Elle reproduit ainsi une liste traditionnelle qui remonte semble-t-il à l'humaniste hollandais Gérard J. Vossius (1577–1649) et souvent citée (v. Pappus d'Alexandrie, *La collection mathématique*, trad. P. Ver Eecke, p. 369, n.1 et l'édition de Pappus par Hultsch, p. 475, n. 1).

L'inclusion des *Données* est étrange car son contenu n'a rien à voir avec l'astronomie et au L. VII de sa *Collection*, Pappus rattache ce traité à un autre recueil. Il est également curieux de voir deux traités intitulés *Sphériques*. A partir de là, il n'est donc pas étonnant que certains spécialistes contestent l'existence d'une telle collection dans l'Antiquité (voir [7, 768–769]).

Il me semble que l'on peut toutefois soutenir une position médiane. Pappus, au Livre I, "rectifie" les *Sphériques* et *Des Jours et des nuits* de Théodose, les *Phénomènes* d'Euclide, *La sphère en mouvement* d'Autolykos, le *Traité* d'Aristarque et l'*Optique* d'Euclide. En cours d'étude, il cite, au titre de références, les *Sphériques* de Ménélaos et *Sur les levers des douze signes* d'Hipparque qui n'a pas été inclus dans le recueil. Il se pourrait donc qu'il ait existé un groupe assez cohérent de cinq ou six traités et que l'"invention" du codex (le passage du rouleau de papyrus au codex, processus qui s'est déroulé du II<sup>ème</sup> au IV<sup>ème</sup> siècles de notre ère) ait favorisé l'agglutination d'autres textes (du même auteur ou sur le même sujet), tels la *Catoptrique* d'Euclide ou les *Sphériques* de Ménélaos. Une telle hypothèse rend assez bien compte de la composition ultérieure du corpus. En revanche l'adjonction des *Données* est certainement plus tardive et à rapporter aux tables des matières des manuscrits grâce auxquels nous connaissons ces textes. Ainsi on remarquera que le manuscrit *Vaticanus græcus* 204 (IX–X<sup>ème</sup> siècles) est divisé en deux parties séparées par une page blanche. La première contient les traités que nous avons mentionnés et s'achève avec la *Catoptrique*; la seconde contient des textes géométriques (les commentaires d'Eutocius aux *Coniques* d'Apollonius; les *Données* d'Euclide en question ici et un commentaire de Marinus dû à une autre main . . .) (Voir [1, 29–30].) L'archétype de la première partie de ce manuscrit pouvait être un bon témoin de la collection astronomique initiale.

Pour ce qui se rapporte à l'astronomie géométrique Germaine Aujac met l'accent sur ce qu'elle appelle "l'hypothèse géocentrique": les cieux constituent une sphère

en mouvement uniforme dont le centre est occupé par la terre immobile et elle aussi sphérique. Elle explique comment, à partir de cette hypothèse, les astronomes grecs anciens ont essayé de rendre compte des mouvements apparents des étoiles dites fixes, du soleil et de la lune, et des cinq planètes qu'ils connaissaient (pp. 24–27, 283–284).

Elle insiste—davantage que la plupart des autres auteurs—sur l'importance du recours aux modèles réduits: sphère à constellations, sphères armillaires, cartes du ciel (voir en particulier pp. 157–171 et 173–178).

Quant aux applications elles reposent sur une similitude fondamentale, postulée entre le ciel et la terre, qui permet aux astronomes et géographes de projeter la sphère céleste et ses cercles fondamentaux (équateur, tropiques, cercles arctique et antarctique) sur la terre (pp. 28–29, 33–36, 41–44, 66–69, 225–229). Parmi les motivations fondamentales de l'astronomie Aujac met l'accent sur:

—La mesure du temps (pp. 72–73, 190–195), l'établissement du calendrier (c'est-à-dire la détermination et l'articulation des périodes des mouvements des fixes, de la lune et du soleil) et la détermination de l'heure la nuit (d'où l'intérêt accordé aux levers et aux couchers des constellations, en particulier aux signes zodiacaux, à leurs durées, aux levers simultanés . . . ) (pp. 108–111, 115–123, 153–156, 202–206, 209–212).

—La détermination des “climats” (pp. 73–75, 212–214, 229–235). En effet l'état du ciel dépend de la période de l'année pendant laquelle on l'observe, mais aussi de l'inclinaison (le “climat” dans la terminologie des Anciens) du pôle céleste sur l'horizon, ou si l'on préfère de la latitude du lieu.

Les deux problèmes sont d'ailleurs liés par la nécessité de rendre compte de la variabilité dans la manière dont se montre le ciel (les “phénomènes”—Aujac utilise souvent le terme “apparences” qui est ici un peu trompeur) en fonction du lieu de l'observateur sur terre. Ainsi la variation de la durée des jours et des nuits en cours d'année (et donc de la durée des heures locales utilisées par les Anciens) est fonction de la latitude (pp. 112–115). L'astronomie et la géographie sont ici solidaires dans leurs démarches (pp. 88–97).

Dans les trois derniers articles du recueil Germaine Aujac souligne également le rôle des modèles réduits que constituent les cartes du monde habité, les difficultés qu'ont rencontrées les géographes-astronomes, les améliorations qu'ils y ont apportées, leurs parti-pris vis à vis des récits de voyages et plus généralement leur attitude à l'égard de leurs sources d'information (pp. 243–252 et 253–268). Parce que la Terre et le Ciel sont soumis aux mêmes traitements—logiques, géométriques et expérimentaux—Germaine Aujac rapproche la représentation de l'espace géographique de ce qu'elle appelle (un peu rapidement à mon avis) la représentation de l'espace cosmologique (pp. 303–314).

L'exposé de Germaine Aujac est souvent une paraphrase des textes grecs, mais elle s'intéresse évidemment aussi à l'histoire de l'astronomie et de la géographie mathématiques. Or les traités conservés sont, pour l'essentiel, des manuels synthétisant les connaissances antérieures, incluant au passage quelques témoignages historiques sur les autorités utilisées: Eudoxe de Cnide, Pythéas de Marseille, Eratos-

thène de Cyrène, Hipparque de Nicée, Posidonius d'Apamée . . . Manifestement ce sont ces auteurs originaux—dont les œuvres sont pratiquement perdues—qui intéressent Aujac. Mais en suivant scrupuleusement les indications de Gémînus, de Cléomède ou de Strabon, le risque n'est pas mince de produire une histoire réduite à un catalogue de progrès. Les anciens Grecs cultivaient cette forme d'histoire—en particulier pour ce qui se rapportait aux sciences—et elle a été constante dans la tradition humaniste européenne.

Celle-ci, en construisant une entité de civilisation abstraite ("les Grecs" ou la "Grèce"), gomme les polémiques, les relations entre l'histoire des savoirs et l'histoire politique, minimise les aspects jugés irrationnels (par exemple, dans le cas qui nous intéresse, le rôle de l'astrologie) . . . , inscrit les événements dans une double temporalité: temporalité de type "biologique" (enfance, maturité, décadence) pour la civilisation grecque elle-même—temporalité linéaire et téléologique pour l'histoire universelle de l'humanité dans laquelle les remarques d'Eratosthène et de Strabon ou les calculs de Ptolémée prédéterminent de manière abstraite les découvertes de Christophe Colomb (voir la "quatrième de couverture" de l'ouvrage analysé ici et aussi p. 97 et 284).

Cette manière d'écrire l'histoire n'est pas très satisfaisante (voir [8]). Ainsi quand Aujac présente des jalons historiques, elle reprend sans réserve les contributions reconnues par les Grecs aux plus anciens d'entre eux: Thalès, Pythagore, Anaximandre . . . . De même elle adopte une position très conventionnelle vis à vis de l'astronomie babylonienne ou de l'astrologie. Plus intéressantes sont les remarques qu'elle fait sur les relations entre le développement de la géographie, l'histoire politique et l'organisation d'explorations.<sup>1</sup> Compte-tenu de la nature des sources dont nous disposons pour l'Antiquité grecque, il faut d'ailleurs reconnaître qu'il est difficile d'écrire une histoire des sciences dont la dimension sociale ne soit pas absente. Cela dit le domaine de l'astronomie élémentaire est peut-être l'un des rares cas où quelque chose de ce genre peut être tenté.

Conventionnelle également est la position que Germaine Aujac défend à propos du statut des modèles mathématiques et des hypothèses, par exemple l'hypothèse géocentrique. Le choix même du terme "hypothèse" ne laisse aucun doute sur la position défendue: à la suite de Pierre Duhem ([3]—la même thèse est soutenue aussi dans [2, 61–68]), Aujac considère que les astronomes grecs s'assignaient comme tâche de "sauver les phénomènes"<sup>2</sup> à l'aide d'explications mathématiques, sans se soucier de saisir ce qu'il en est de l'essence des choses célestes. Elle oppose donc les modélisations conventionnalistes des astronomes dont la pertinence s'évalue grâce aux prédictions qu'ils permettent (et qui les corroborent) aux spéculations cosmologiques des philosophes (des "physiciens") lesquelles prétendent au

<sup>1</sup> Quoique la manière de présenter les conquêtes d'Alexandre (pp. 35, 61, 244, 253–254, 298), avec la même indulgence que Strabon (p. 300), soit assez confondante. Le dernier article du recueil est plus riche et plus nuancé.

<sup>2</sup> L'expression apparaît dans le commentaire de Simplicius au Livre II du *De cælo* d'Aristote (*In Aristotelis de Cælo commentaria*, ed. J. L. Heiberg, Berlin, 1894; 491–510). Madame Aujac a d'ailleurs édité et traduit ce texte en Annexe (pp. 157–190) de son édition d'Autolykos de Pitane.

statut de descriptions vraies. Elle met l'accent sur le caractère *hypothétique* du géocentrisme (pp. 24–27, 36)—hypothèse retenue parmi d'autres, insiste-t-elle, pour des raisons de simplicité et d'efficacité opératoire par les astronomes grecs. Sur cet exemple Aujac oppose d'une part les savants astronomes sans préjugés (p. 41): Aristarque, Archimède, Eratosthène, Hipparque . . . et d'autre part les philosophes, tout particulièrement ceux de l'école stoïcienne qui, dans leurs querelles avec les Epicuriens et autres Sceptiques, seront tout naturellement conduits à durcir de plus en plus leur position (p. 33–56).

Elle ne mentionne pas les travaux récents qui ont montré que cette interprétation reposait, au moins chez Duhem, sur une lecture partielle et orientée de l'*Almageste* et des *Hypotyposes des planètes* de Proclus, voir en particulier [4; 5]. De fait il est exagéré de dire que les préoccupations cosmologiques ou physiques sont exclues des textes d'astronomie mathématique: comme on le voit dans le petit traité d'Aristarque ou dans l'*Almageste*, elles sont cantonnées aux hypothèses. Par exemple, dans le maître ouvrage de Ptolémée, l'hypothèse géocentrique est introduite dès le début car il faut préciser quels sont les corps en mouvements, quels sont ceux qui sont en repos. Pour l'astronome c'est un point de départ; le physicien peut en rendre compte à partir d'autres considérations et c'est d'ailleurs ce que fait Ptolémée au cours de l'argumentation qu'il développe dans le Livre I. C'est également un point de vue cosmologique qu'il adopte dans ses *Hypothèses des planètes*, traité en quelque sorte complémentaire, guère pris en compte par Duhem ou Dijksterhuis.<sup>3</sup>

Rédiger un traité astronomique sous une forme déductive a certainement des conséquences sur la manière dont les données physiques ou observationnelles sont prises en compte; mais l'exemple de Ptolémée montre que l'on ne peut pas en inférer une conception purement instrumentaliste de l'astronomie.

Plus originale est la thèse que défend Germaine Aujac au sujet des modèles réduits. Leur intérêt pédagogique est évident, mais selon Aujac ils seraient aussi des outils heuristiques. Dans les discussions sur les méthodes des astronomes grecs, discussions trop souvent réduites à une bipolarisation: empirie—observations/théorie—modèles mathématiques, il faut, selon Aujac, introduire une troisième dimension: l'expérimentation sur modèles réduits, cette composante expérimentale ayant autant d'importance que l'observation proprement dite, sinon plus.

La thèse est intéressante et mériterait un examen approfondi. Il me semble toutefois que certains des arguments manquent leur but, par exemple le rapprochement (pp. 157, 284) que fait Aujac avec la célèbre remarque d'Archimède sur le caractère heuristique de la mécanique.<sup>4</sup> Aujac l'utilise pour soutenir que la Sphéropée est à l'Astronomie ce que la Mécanique est à la Géométrie; l'analogie me paraît un peu forcée. Elle s'appuie sur une interprétation très réaliste du passage

<sup>3</sup> Une édition de la version arabe (seule la première partie du premier Livre est conservée en grec) est en cours. Voir [6].

<sup>4</sup> Cette remarque se trouve à la fin de la lettre-préface adressée par Archimède à Eratosthène avec le traité *De la méthode*.

de la *Méthode* (Archimède renverrait à des manipulations physiques, entre autres à des pesées réelles—interprétation déjà avancée par Ch. Mugler dans la notice à son édition du traité *Sur la quadrature de la parabole*—et qui est très contestable).

Quant aux témoignages relatifs à la sphéropée qu'Aujac cite à l'appui de sa thèse, ils suggèrent que ces modèles réduits ont surtout une valeur "monstrative" qu'il s'agisse de pédagogie (voir le texte de Géminus<sup>5</sup>), ou d'usages plus spectaculaires qui visent à émerveiller un public. A la fin du §2 du Livre XIII de l'*Almageste* Ptolémée lui-même semble souligner les limites du recours aux modèles réduits pour représenter la situation compliquée des mouvements des planètes: en effet les éléments matériels qui composent les maquettes ne peuvent pas facilement s'interpénétrer comme le font les mouvements célestes.

D'où un autre type de difficultés: pour que ces maquettes puissent être utilisées dans la recherche astronomique à l'époque qui nous intéresse il faudrait qu'elles soient construites avec une précision suffisante; ce qui implique des problèmes technologiques qu'Aujac n'aborde pas vraiment.<sup>6</sup>

Le contexte scientifique, en particulier l'époque, ne doit en effet pas être négligé: l'usage de modèles réduits peut être efficace si l'on cherche des indications qualitatives et telles étaient peut-être les ambitions d'Eudoxe de Cnide quand il élaborait, au milieu du IV<sup>e</sup> siècle avant notre ère, son système des sphères homocentriques. Mais la recherche de l'époque hellénistique—cela paraît évident dans le cas d'Hipparque—est marquée par un souci important de quantification. Otto Neugebauer y voit l'influence des contacts établis (ou repris) entre Grecs et Babyloniens et il veut y reconnaître une véritable révolution scientifique (voir [7, 572, 601]). Quoiqu'il en soit, cette exigence calculatoire ne pouvait s'appuyer sur des modèles réduits que s'ils étaient suffisamment précis. En passant sous silence l'aspect calculatoire pour mettre l'accent seulement sur l'usage de modèles géométriques et/ou mécaniques, Germaine Aujac prend le risque de surestimer le rôle heuristique de ces modèles réduits.

Malgré ces réserves le recueil de Germaine Aujac a son utilité. Il a le mérite d'attirer l'attention sur des textes astronomiques écrits par des auteurs qui se réclament du stoïcisme ou qui en sont proches, et que les spécialistes de la période—qu'il s'agisse des historiens de l'astronomie ou des philosophes—prennent trop rarement en considération. Il comble donc une lacune de la bibliographie. Simplement on peut regretter qu'Aujac ait opté pour le regroupement d'articles dont la collection VARIA fait son *credo*, plutôt que d'écrire, à nouveaux frais, un très bon livre sur la "Petite astronomie" comme sa connaissance de ces textes le lui permettait.

Il est vrai qu'il n'est pas toujours facile de trouver les revues spécialisées ou les textes diffusés parfois de manière confidentielle; qu'il peut être intéressant de suivre

<sup>5</sup> Celui-ci précise d'ailleurs que toutes les sphères sont construites pour la latitude de la Grèce (en fait celle de Rhodes, 36°). Ceci suppose un instrument assez sommaire et peu propice à l'expérimentation heuristique.

<sup>6</sup> Elle pense que ces appareils étaient mus par la force hydraulique, avec réglage de la vitesse de rotation (p. 168, n. 1).

l'évolution de la pensée d'un chercheur sur un thème donné, et on doit donc admettre que le recueil d'articles se justifie. Mais à condition d'obéir à une sélection rigoureuse: l'ensemble est trop hétérogène quant au niveau; les redites trop nombreuses. Les conférences de vulgarisation ne sont certainement pas les meilleures occasions pour problématiser un exposé ou pour discuter des positions récemment débattues par les spécialistes. Enfin pour la commodité du lecteur une mise au point bibliographique récente pour l'ensemble de l'ouvrage et des notes complémentaires de mise à jour des articles les plus importants n'auraient pas été de trop.

### RÉFÉRENCES

1. Germaine Aujac, *Autolykos de Pitane*, Paris: Belles-Lettres, 1970.
2. E. J. Dijksterhuis, *The Mechanization of the World Picture: Pythagoras to Newton*, trad. angl. C. Dickshoorn, Oxford: Oxford Univ. Press, 1961, repris chez Princeton, NJ: Princeton Univ. Press, 1986.
3. Pierre Duhem, *Essai sur la notion de théorie physique de Platon à Galilée: ΣΟΖΕΙΝ ΤΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ*, Paris: Hermann, 1908, repris chez Vrin, 1990, pp. 1–27.
4. Geoffrey E. R. Lloyd, "Saving the Appearances," *Classical Quarterly* **28** (1978), 202–222; repris avec une mise au point sur la question et un complément bibliographique dans [5].
5. Geoffrey E. R. Lloyd, *Methods and Problems in Greek Science*, Cambridge, UK: Cambridge Univ. Press, 1991, 248–277.
6. Regis Morelon, *La version arabe du Livre des hypothèses de Ptolémée (Traité I)*, Louvain/Paris: MIDEO, 1993.
7. Otto Neugebauer, *A History of Ancient Mathematical Astronomy*, Berlin/Heidelberg/New York: Springer-Verlag, 1975.
8. Bernard Vitrac, Mythes (et réalités historiques?) des mathématiques grecques anciennes, à paraître dans *L'Europe mathématique, mythes et réalités historiques*, ed. Goldstein, Gray, et Ritter, Paris: Editions de la maison des sciences de l'homme, 1995.